



Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente

Convocatoria 2014

Nº de proyecto: 347

Título del proyecto:

Diseño y construcción de una práctica de separación de nitrógeno y oxígeno del aire mediante ciclos PSA y desarrollo de un programa de modelado y simulación de la misma para su empleo didáctico en el nuevo máster de Ingeniería Química

Nombre del responsable del proyecto: V. Ismael Águeda Maté

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ingeniería Química

## **1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto**

El objetivo genérico de este proyecto Diseño y construcción de una práctica de separación de nitrógeno y oxígeno del aire mediante ciclos PSA y desarrollo de un programa de modelado y simulación de la misma para su empleo didáctico en el nuevo máster de Ingeniería Química.

Este objetivo genérico se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Construir un prototipo de una práctica de laboratorio basada en software libre y de bajo costo que pueda ser referente para su empleo en el ámbito educativo en operaciones de separación de gases mediante tecnología PSA. Se pretende asegurar la calidad en la formación de posgrado con el empleo de tecnologías novedosas y ampliamente empleadas de las que no existe instalación experimental.
- Desarrollar un software basado en la resolución de las ecuaciones fundamentales que permita modelar los resultados obtenidos en la instalación experimental. Además permitirá simular otras condiciones de operación similares a las que se emplean en instalaciones industriales. Esta iniciativa puede favorecer la inserción laboral de los estudiantes de máster debido a la amplia utilización de herramientas de simulación en la Ingeniería Química.
- Extender el uso del Campus Virtual UCM. Se empleará esta herramienta para el desarrollo de las asignaturas en las que se realice la práctica. Se incluirá la información necesaria para el correcto desarrollo de la misma con bibliografía específica.
- Desarrollar tutoriales y manuales de manejo en español e inglés, tanto de la instalación experimental mediante videos, como del programa de simulación mediante ejemplos. Se pretende potenciar el aprendizaje en inglés, ya que la mayoría de los manuales avanzados que se emplean en los títulos de máster se encuentran publicados en la misma.
- Generar tablas de datos que permitan realizar la práctica virtualmente para aquellos estudiantes que no puedan realizarlo presencialmente. Permitirá realizar prácticas a través de internet y el aprendizaje autónomo del estudiante.
- Plantear cuestiones prácticas para que el estudiante pueda aplicar el aprendizaje adquirido.

## 2. Objetivos alcanzados

De los objetivos inicialmente propuestos, se han alcanzado los siguientes:

- Fomentar el uso del Campus Virtual UCM mediante una herramienta que estará disponible a través del campus virtual de las diferentes asignaturas para los alumnos. Se ha creado un seminario de trabajo en el Campus Virtual UCM donde se ha incluido toda la información necesaria.
- Se ha desarrollado un software basado en la resolución de las ecuaciones fundamentales que permite modelar y simular un proceso PSA de separación de los gases del aire. Permitirá simular otras condiciones de operación similares a las que se emplean en instalaciones industriales.
- Se han desarrollado tutoriales y manuales de manejo en español e inglés del programa de simulación mediante ejemplos. Se pretende potenciar el aprendizaje en inglés, ya que la mayoría de los manuales avanzados que se emplean en los títulos de máster se encuentran publicados en inglés.
- Se ha descrito el procedimiento de resolución, mediante el mencionado programa de simulación, de cuestiones prácticas resueltas, análogas a las que se trabajan en cada una de las materias involucradas en el proyecto: en la página web se han incluido videos que explican de manera interactiva la resolución específica de las diferentes cuestiones prácticas.
- Se han planteado cuestiones prácticas de cada una de las materias involucradas en el proyecto para que el estudiante pueda aplicar el aprendizaje adquirido: la página web incluye problemas similares a los explicados anteriormente, preparados para la resolución por parte del alumno.
- El desarrollo y empleo del programa permitirá entre otras, una mayor autonomía y emprendimiento de los estudiantes y ser capaces de desarrollar nuevas iniciativas que favorezcan su inserción laboral.
- El manejo de tutoriales y manuales en lengua inglesa facilita su aprendizaje y la adquisición de vocabulario específico a través del empleo y uso de nuevas tecnologías.

Debido a la falta de financiación del proyecto no se ha podido construir el prototipo experimental, lo que no ha permitido alcanzar los siguientes objetivos propuestos:

- Construir un prototipo de una práctica de laboratorio basada en software libre y de bajo coste que pueda ser referente para su empleo en el ámbito educativo en operaciones de separación de gases mediante tecnología PSA.
- Desarrollar tutoriales y manuales de manejo en español e inglés, de la instalación experimental mediante videos.
- Generar tablas de datos que permitan realizar la práctica virtualmente para aquellos estudiantes que no puedan realizarlo presencialmente. Permitirá realizar prácticas a través de internet y el aprendizaje autónomo del estudiante.

### **3. Metodología empleada en el proyecto**

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto y consecución de los objetivos planteados ha sido la siguiente:

- 1) Diseño de un prototipo de una práctica de laboratorio basada en software propio y de bajo coste. El diseño se incluye en la información como manual de empleo de la instalación experimental
- 2) Desarrollo de un software basado en la resolución de las ecuaciones fundamentales de balance de materia, energía y cantidad de movimiento. El programa integrador empleado se denomina ODEPACK y consiste en una colección de subrutinas de Dominio Público en FORTRAN. El compilador es SILVERFROST FORTRAN del que la UCM posee licencia educativa.
- 3) Desarrollo de manuales de manejo del software. Cada una de las guías que se desarrollará tanto en español como en inglés.
- 4) Desarrollo del laboratorio. Se realiza una sesión práctica de manejo del programa informático donde se resuelven las cuestiones planteadas.
- 5) Implementación de herramienta en el CV para entregar las tareas.

#### **4. Recursos humanos**

El equipo docente está constituido por tres catedráticos (Gabriel Ovejero, M<sup>a</sup> Ángeles Uguina y M<sup>a</sup> Dolores Romero), dos profesores titulares (José Antonio Delgado y Juan García) y un profesor contratado doctor (V. Ismael Águeda) como responsable del mismo que forman parte del Grupo de Catálisis y Operaciones de Separación (CyPS)" (ref. 910602). Además, se han incorporado dos Técnicos del Centro de Apoyo a la Investigación (CAI) del Taller Electrónico pertenecientes al PAS de la UCM (Andrés Curto y Óscar García).

Los integrantes del equipo son responsables de la docencia en las asignaturas Modelización y Simulación de Procesos y Procesos Avanzados de Separación del nuevo Máster en Ingeniería Química: Ingeniería de Procesos, en las que el desarrollo del presente proyecto de innovación se llevaría a cabo.

Además de impartir docencia en otras asignaturas del Máster en Ingeniería Química, desarrollan su actividad docente en asignaturas del Grado en Ingeniería Química relacionadas con la temática descrita en el presente proyecto como Simulación y control de procesos, Operaciones de Separación e Informática aplicada así como las prácticas pertenecientes a éstas y otras asignaturas durante más de 20 años, por lo queda demostrada su experiencia en la temática descrita.

Su actividad investigadora se centra en aspectos de la Ingeniería Química relacionados con las asignaturas de Modelización y Simulación de Procesos y Procesos Avanzados de Separación. Así, han publicado varios trabajos de investigación en revistas de reconocido prestigio en Ingeniería Química relacionadas con la simulación y modelización de procesos de separación por adsorción de mezclas gaseosas por tecnologías de cambios presión (PSA) aplicados a la captura de CO<sub>2</sub> y a la purificación de hidrógeno. Además, han registrado un software de simulación de procesos de separación por adsorción empleando la tecnología PSA. En la actualidad tienen concedido un proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad titulado "RECUPERACIÓN DE HIDRÓGENO DE MEZCLAS GASEOSAS MEDIANTE CICLOS PSA" con referencia CTQ2012-34626

La amplia experiencia educativa de los miembros del grupo de más de 40 años en la docencia de diferentes asignaturas de Ingeniería Química, junto con el empleo de nuevas herramientas de las que disponen ofrece una serie de sinergias que se pretenden aprovechar en este proyecto.

Todos los miembros del grupo han participado activamente en innovación educativa en las diferentes asignaturas de las que son responsables en diferentes procesos de cambios de planes de estudio. Lo que queda de manifiesto en el apartado de experiencia en innovación educativa.

La incorporación de dos Técnicos pertenecientes al CAI de Taller de Electrónica con una dilatada experiencia en el desarrollo de prototipos experimentales y el diseño de sistemas de control automáticos con el grupo CyPS, supone la consolidación de un grupo multidisciplinar que abarca al proyecto y garantiza la consecución de los objetivos planteados.

## 5. Desarrollo de las actividades

El orden cronológico de desarrollo de las actividades ha sido el siguiente:

- 1) Diseño de un prototipo de una práctica de laboratorio basada en software propio y de bajo coste. El diseño se incluye en la información como manual de empleo de la instalación experimental.

Se ha diseñado una instalación experimental para realizar la separación de gases empleando la tecnología PSA (Pressure Swing Adsorption). Esta tecnología de separación se emplea en la industria química para la purificación de hidrógeno, captura de CO<sub>2</sub>, separación de los gases constituyentes del aire...

En este sentido se ha planteado el diagrama de flujo y la descripción de las etapas necesarias para su posterior construcción. Se ha realizado el dimensionamiento de la práctica, con las correspondientes unidades de control de variables necesarias, como temperatura, humedad, presión y contenido de O<sub>2</sub>.

No se ha podido por falta de presupuesto construir la unidad con las válvulas y equipos físicos necesarios así como el uso de la plataforma Arduino como unidad de control de procesos. Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Además se había planteado realizar la adquisición de datos y representación gráfica de los mismos empleando una RaspberryPi como ordenador de bajo coste.

- 2) Se ha desarrollado un software basado en la resolución de las ecuaciones fundamentales de balance de materia, energía y cantidad de movimiento. El programa integrador empleado se denomina ODEPACK y consiste en una colección de subrutinas de Dominio Público en FORTRAN. El compilador es SILVERFROST FORTRAN del que la UCM posee licencia educacional. El programa en cuestión recibe el nombre de PSASIM. En el programa hay que introducir una serie de ficheros de entrada con las principales variables de las que depende el proceso PSA y se obtienen una serie de ficheros de salida con parámetros definidos. Se pueden modificar las etapas del ciclo PSA, los caudales, composiciones, propiedades del gas, isothermas de equilibrio, temperaturas, parámetros cinéticos y parámetros del balance de calor.
- 3) Se han desarrollado los manuales de manejo del software en inglés y en español. Se han incluido las etapas propias de una separación basada en la tecnología PSA (Pressure Swing Adsorption), incluyendo un ejemplo didáctico de resolución del modelo. Se ha elegido la separación de los gases que constituyen el aire y se han implementado los parámetros adecuados para una primera simulación del proceso. El manual en inglés permite obtener el vocabulario técnico específico para procesos PSA. Esta tecnología es muy empleada en la industria química para diferentes procesos de separación de gases.
- 4) Desarrollo del laboratorio. Se realiza una sesión práctica de manejo del programa informático donde se resuelven las cuestiones planteadas. Se hace entrega de un resumen con los principales parámetros que han de emplearse para poder simular un proceso de separación con la tecnología PSA para producir a partir de aire nitrógeno y oxígeno.

- 5) Entrega de informe de laboratorio. Los estudiantes tienen que resolver una serie de preguntas incluidas en la hoja de especificaciones de la práctica, así como un guión de prácticas de acuerdo con las indicaciones recibidas. El trabajo se desarrolla en grupo y para su entrega disponen de 15 días desde la fecha de finalización de las mismas.
- 6) Se ha diseñado un seminario en el CV de la UCM basado en la plataforma Moodle. Se han incluido cada uno de los paquetes de trabajo desarrollados. Además se han introducido una herramienta en el CV para entregar las tareas.

## **6. Anexos**

Los productos obtenidos se han implementado en un seminario del campus virtual de la UCM desarrollado en la plataforma Moodle. Se ha denominado Laboratorio de procesos avanzados de simulación ya que con el desarrollo de esta práctica se pueden complementar los conocimientos y competencias que se deben adquirir en las asignaturas del máster de ingeniería química de Modelización y simulación de procesos y de Operaciones avanzadas de simulación.

La url para acceder al seminario es:

<https://cv4.ucm.es/moodle/course/view.php?id=54094>